

УДК 621.51

**ПРОГНОЗУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАЛОГАБАРИТНИХ
РАДІОКЕРОВАНИХ АПАРАТІВ**

*Бичковський В. О., к.т.н., доцент; Реутська Ю. Ю., асистент
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

**PROGNOSTICATION OF LITTLE SIZE RADIO - CONTROLLED
APPARATUS EFFICIENCY**

*Bychkovskiy V. O., PhD, Associate Professor; Reutska Yu. Yu., Assistant
National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine*

Вступ

Сучасний етап розвитку суспільства характеризується безперервним удосконаленням техніки і технологій, ефективне використання яких без організації процесу керування не представляється можливим. Процесами керування охоплюється все більша кількість об'єктів різного призначення, удосконалюються методи керування та покращуються характеристики систем керування. Останні досягнення мікроелектроніки та технологій виробництва відкрили можливості створення та ефективного використання малогабаритних керованих апаратів різноманітного призначення [1,2]. При цьому особливе місце займають радіокеровані апарати. Малогабаритні радіокеровані апарати (МРА) відносяться до керованих об'єктів спеціального призначення, які виконують поставлені задачі в екстремальних умовах, зумовлених наступними обставинами:

1. Проведення операцій на територіях обмеженого доступу (ТОД), які утворюються внаслідок надзвичайних обставин, аварій або катастроф.
2. Виконання інспекційних або технологічних робіт в об'єктах обмеженого доступу (ООД), до яких відносяться трубопроводи та підземні комунікації.
3. Забезпечення проведення спецоперацій в умовах потайності.
4. Забезпечення проведення спецоперацій в умовах несподіваності.
5. Підтримка антитерористичних операцій.
6. Проведення радіаційної, хімічної, біологічної, радіоелектронної та візуальної розвідки.

Для виконання поставлених завдань на МРА розміщуються інформаційні, інформаційно – керуючі та технологічні системи [3].

Технологічні системи виконують передбачений перелік робіт згідно поставлених задач. В склад інформаційної системи входять різноманітні датчики, вимірювальні пристрої, пристрої запам'ятовування інформації та лінія передачі інформації. Інформаційно – керуюча система складається із

нерадіотехнічних та радіотехнічних систем керування. Малогабаритна система радіокерування (МСР) представляє собою сукупність функціонально пов'язаних пристроїв, що забезпечують цілеспрямовану зміну траєкторії руху МРА або процесів в ньому за допомогою радіозасобів [4]. Відповідно до поставлених задач можуть використовуватись автономні, неавтономні або комбіновані системи радіо керування. В межах комбінованих систем представляється можливим використання різних принципів застосування окремих підсистем: послідовний, паралельний, змішаний.

Приймаючи до уваги перспективність використання МРА в екстремальних умовах, доцільно вважати задачу прогнозування їх ефективності як в самотійному варіанті так і у складі робототехнічних комплексів як актуальну та практично спрямовану.

Постановка задачі

Прогнозування як розробка прогнозу представляє собою спеціальне наукове дослідження конкретних перспектив розвитку будь – якого явища. На даний час нараховується понад 150 різних методів прогнозування, з яких на практиці використовується не більше 20 методів. В процесі прогнозування розвитку технічних систем використовуються як загальні наукові методи дослідження, так і специфічні методи, властиві науково – технічному прогнозуванню [5]. Що стосується прогнозування ефективності малогабаритних радіокерованих апаратів, то виникає необхідність розробки спеціальних методів, які враховують наступні фактори:

1. Інформаційно – ймовірнісну природу процесів в МРА.
2. Можливість виконання поставлених задач в умовах, неприйнятних для звичайних радіокерованих апаратів.
3. Застосування МРА у складі малогабаритних робототехнічних комплексів (РТК).

Прогнозування ефективності МРА представляється можливим на підставі комплексного використання залежностей між ймовірністю виконання поставленої перед МРА задачі та інформаційною спроможністю, формалізації задачі макроаналізу РТК та застосування методики переходу від випадкових внутрішньо системних взаємодій до деякого регулярного процесу.

Теоретичні викладки

Розв'язання задач, поставлених перед системами МРА, забезпечується завдяки інформації про оточуюче середовище, стан МРА та хід процесів, що контролюються.

Ймовірність P виконання МРА поставленої задачі залежить від кількості інформації I , що надходить в його системи. Нехай P_m — потенційно можливе значення P . Щоб P_m була потенційно можливим значенням, швидкість зростання P повинна поступово зменшуватися при зростанні

$I = I(t)$ та асимптотично наближатися до P_m . Це є можливим, коли dP пропорційно різниці між P_m та P , тобто

$$dP = k(P_m - P)dI, \quad (1)$$

де k — константа швидкості зростання P . Перепишемо рівняння (1) у вигляді

$$\frac{dP}{P_m - P} = kdI$$

та проінтегруємо його ліву та праву частину. Тоді можна записати

$$P = P_m[1 - \exp(-kI)]. \quad (2)$$

Прийmemo до уваги, що кількість інформації $I = \ln N$, де N — інформаційна спроможність систем МРА [6]. Тоді на підставі формули (2) визначаємо

$$P = P_m(1 - N^{-k}). \quad (3)$$

До головної особливості МРА відносять можливість виконання завдань в умовах, коли застосування звичайних радіокерованих апаратів є малоефективним або навіть принципово неможливим. Нехай в системах звичайного апарату недоступною є кількість інформації ΔI . Тоді використовується інформація $I_0 = I - \Delta I$. Ймовірність виконання поставленої задачі звичайним радіокерованим апаратом (РА)

$$P_0 = P_m[1 - \exp(-kI_0)]. \quad (4)$$

Прийmemo до уваги, що $\Delta I = \ln \Delta N$, де ΔN — втрата інформаційної спроможності. Тоді на підставі формули (4) знаходимо

$$P_0 = P_m[1 - (\frac{\Delta N}{N})^k]. \quad (5)$$

Якщо $\Delta I = 0$, то $\Delta N = 1$ квант. Отже, від формули (5) переходимо до формули (3).

Якщо розглядати ситуацію в почасовій області, то МРА більш оперативно виконують поставлену задачу. Це означає, що звичайні радіокеровані апарати доставляють необхідну інформацію з деякою затримкою τ порівняно з МРА. Таким чином, $I_0 = I(t - \tau)$. Розкладаючи функцію $I(t - \tau)$ в ряд Тейлора та утримуючи перші дві складові ряду, визначаємо

$$I(t - \tau) = I(t) - \tau \frac{dI(t)}{dt}. \quad (6)$$

На підставі формул (4), (6) знаходимо

$$P_0 = P_m[1 - \frac{1}{N^k} \exp(k\tau \frac{d \ln N}{dt})]. \quad (7)$$

Порівнюючи формули (5) та (7), визначаємо втрату інформаційної спроможності

$$\Delta N = \exp\left(\tau \frac{d \ln N}{dt}\right). \quad (8)$$

При проведенні розвідки або спецоперацій використання МРА дає можливість забезпечити їх потайність. Таким чином, доступною стає більша кількість інформації та зменшуються втрати МРА від знешкодження або знищення. Функціональні можливості МРА суттєво залежать від інформаційно – енергетичних показників окремих систем. Підвищення інформаційної спроможності окремих систем МРА може бути досягнуто за рахунок переоснащення їх сучасними варіантами апаратури або застосуванням МРА у складі робототехнічного комплексу (РТК), який утворюється групою МРА, засобами обслуговування, доставки, пунктом керування та обробки даних. Розглянемо роботу РТК, для функціонування якого забезпечено постійний резерв в кількості A_0 апаратів. В роботу включаються $M = M(t)$ апаратів, частина апаратів знешкоджується або знищується. Тоді рівняння динаміки має наступний вигляд:

$$\frac{dM}{dt} = k_1 A_0 - k_2 M, \quad (9)$$

де k_1 — відносна швидкість збільшення M ; k_2 — відносна швидкість зменшення M .

Перепишемо рівняння (9) у вигляді

$$\frac{dM}{dt} + k_2 M = k_1 A_0. \quad (10)$$

Помножимо ліву та праву частину рівняння (10) на множник $\exp(k_2 t)$. Тоді можна записати

$$\frac{d}{dt}[M \exp(k_2 t)] = k_1 A_0 \exp(k_2 t). \quad (11)$$

Нехай на початку застосування РТК ($t = 0$) поставлену задачу виконувало M_0 апаратів. Інтегруючи рівняння (11) по M від M_0 до M та по t від 0 до t , визначаємо

$$M = M_0 + \frac{k_1 A_0}{k_2} [1 - \exp(-k_2 t)]. \quad (12)$$

Для стаціонарного режиму

$$M_{\text{ст}} = \lim_{t \rightarrow \infty} M = M_0 + \frac{k_1 A_0}{k_2}. \quad (13)$$

Прийmemo до уваги, що існує залежність між M та N : $M = k_b N$, де k_b — коефіцієнт ефективності витрат на виробництво та експлуатацію [3]. Тоді на підставі формули (12) запишемо

$$N = \frac{1}{k_b k_2} [k_2 M_0 + k_1 A_0 (1 - \exp(-k_2 t))]. \quad (14)$$

На підставі формули (14) визначаємо

$$N_{\text{ст}} = \lim_{t \rightarrow \infty} N = \frac{M_0}{k_{\text{в}}} + \frac{k_1 A_0}{k_2 k_{\text{в}}}. \quad (15)$$

Прийmemo до уваги, що $N < N_{\text{ст}}$ та введемо параметр $a = P/P_m$. Тоді на підставі формул (3) та (15) визначаємо вимогу до параметрів РТК:

$$\frac{k_1}{k_2} > \frac{1}{A_0} \left[\frac{k_{\text{в}}}{(1-a)^{1/k}} - M_0 \right]. \quad (16)$$

Якщо вважати, що потенційна ймовірність виконання поставленої перед МРА задачі $P_m = 1$, то у формулі (16) параметр a дорівнює P . На підставі формули (16) знаходимо ще одну умову на параметри РТК:

$$k_{\text{в}} > M_0 (1-a)^{1/k}. \quad (17)$$

Отже, при організації роботи РТК в умовах забезпечення постійного резерву МРА існують умови (16), (17) на співвідношення між параметрами РТК. В найпростішій ситуації $M_0 = 1$, тобто розгортання РТК починається із застосування одного МРА.

Оскільки $N < N_{\text{ст}}$, то на підставі формул (3) та (15) знаходимо

$$P < P_m \left[1 - \left(\frac{k_2 k_{\text{в}}}{k_2 M_0 + k_1 A_0} \right)^k \right]. \quad (18)$$

На підставі формули (18) визначаємо

$$k_2 k_{\text{в}} < k_2 M_0 + k_1 A_0. \quad (19)$$

Тоді на підставі формул (17), (19) запишемо

$$M_0 (1-a)^{1/k} < k_{\text{в}} < M_0 + \frac{k_1 A_0}{k_2}. \quad (20)$$

Отже, представляється можливим в процесі прогнозування ефективності враховувати як можливості МРА, так і РТК у цілому.

Висновки

Використання МРА відкриває нові можливості для розв'язання задач в екстремальних умовах, на територіях та об'єктах обмеженого доступу, в умовах потайності та несподіваності. Прогнозування ефективності МРА показує, що з'являється можливість запобігти втратам інформації порівняно із звичайними радіокерованими апаратами та суттєво збільшити ймовірність виконання поставленої задачі. Доцільно використовувати МРА у складі робототехнічних комплексів спеціального призначення. При забезпеченні постійного резерву МРА представляється можливим прогнозувати закономірності введення МРА в роботу та характер зростання інформаційної спроможності робототехнічного комплексу. Встановлено, що існують умови для коефіцієнта ефективності витрат на виробництво та експлуатацію комплексу, що відкриває можливості виконувати прогнозування на етапі розробки РТК. Визначено, що існують обмеження на ймовірність ви-

конання поставленої задачі, які залежать від резерву МРА, кількості працюючих МРА на початку розгортання робототехнічного комплексу та коефіцієнта ефективності витрат на його виробництво та експлуатацію.

Література

1. Экстремальная робототехника. Нано, микро и макророботы (ЭР – 2009) // Материалы 20-й Международной научно – технической конференции. — Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2009. — 390 с. — ISBN 978-5-8327-0340-4.
2. Юрьевич Е. И. Основы робототехники. — СПб. : БХВ — Петербург, 2005. — 416 с. — ISBN 5-94157-473-8.
3. Воронников С. А. Информационные устройства робототехнических систем: Учеб. Пособие. — М. : Изд – во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. — 384 с. — ISBN 978-5-7038-2207-6.
4. Справочник по радиоэлектронным системам. / Под ред. Куликовского А. А. — Т. 2. — М. : Энергия, 1979. — 368 с. — УДК 621.37/39(031.5).
5. Кузнецов Ю. М., Скляр Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем. — К. : ТОВ «ЗМОК» — ПП «ГНОЗИС», 2004. — 323 с. — ISBN 966-7569-79-9.
6. Новицкий П. В. Основы информационной теории измерительных устройств. — М. : Энергия, 1968. — 248 с. — УДК 620.1.06.001:621.317.1.

References

1. Ekstriemalnaya robototekhnika. Nano, mikro i makroroboty (ER – 2009) // Materialy 20-j Miezhdunarodnoi nauchno – tekhnicheskoi konfieriencii. – Taganrog: TTI YuFU, 2009. – 390 s. ISBN 978-5-8327-0340-4.
2. Yurievich E. I. Osnovy robototiekhniki. – SPb: BKhV – Pietierburg, 2005. – 416 s. ISBN 5-94157-473-8.
3. Vorotnikov S.A. Informacionnyie ustroistva robototekhnicheskikh sistiem: Ucheb. Posobiie. – M.: Izd – vo MGTU im. N. Je. Baumana, 2005. – 384 s. ISBN 978-5-7038-2207-6.
4. Spravochnik po radioelektronnym sistemam. / Pod red. Kulikovskogo A. A. – T. 2. – M.: Energiya, 1979. – 368 s. UDK 621.37/39(031.5).
5. Kuznietsov Yu. M., Skliarov R. A. Prognozuvannia rozvytku tekhnichnykh system. – K.: TOV «ZMOK» - PP «GNOZYS», 2004. – 323 s. ISBN 966-7569-79-9.
6. Novitskij P.V. Osnovy informatsionnoj teorii izmeritelnykh ustrojstv. – M.: Energiya, 1968. – 248 s. UDK 620.1.06.001:621.317.1.

Бичковський В. О., Реутська Ю. Ю. Прогнозування ефективності малогабаритних радіокерованих апаратів. В статті розглянуто методику оцінки ефективності малогабаритних радіокерованих апаратів (МРА), яка базується на інформаційно – ймовірнісному підході. Визначено залежності між ймовірністю виконання поставленої перед МРА задачі та кількістю доступної інформації. Проведено порівняльний аналіз із аналогічними залежностями для звичайних радіокерованих апаратів. Формалізовано задачі оцінки ймовірності виконання поставленої мети при втратах інформаційної спроможності та затримці інформації. Розглянута ситуація роботи МРА у складі робототехнічного комплексу (РТК) в умовах постійного резерву МРА. Встановлена залежність між кількістю функціонуючих МРА в РТК та розміром існуючого резерву МРА. Проаналізовано показники сталого режиму. Встановлено умову щодо коефіцієнта ефективності витрат на виробництво та експлуатацію РТК з МРА. Формалізова-

но задачу розгортання РТК у вигляді обмежень на ймовірність виконання поставленої задачі та коефіцієнт ефективності витрат.

Ключові слова: прогноз, ефективність, радіокерування, ймовірність, інформація.

Бычковский В. А., Реутская Ю. Ю. **Прогноз эффективности малогабаритных радиоуправляемых аппаратов.** В статье рассмотрена методика оценки эффективности малогабаритных радиоуправляемых аппаратов (МРА), которая базируется на информационно - вероятностном подходе. Определены зависимости между вероятностью выполнения поставленной перед МРА задачи и количеством доступной информации. Проведен сравнительный анализ с аналогичными зависимостями для обычных радиоуправляемых аппаратов. Формализованы задачи оценки вероятности выполнения поставленной цели при потерях информационной способности и задержке информации. Рассмотрена ситуация работы МРА в составе робототехнического комплекса (РТК) в условиях постоянного резерва МРА. Установлена зависимость между количеством функционирующих МРА в РТК и размером существующего резерва МРА. Проанализированы показатели установившегося режима. Установлено условие для коэффициента эффективности затрат на производство и эксплуатацию РТК с МРА. Формализована задача развертывания РТК в виде ограничений на вероятность выполнения поставленной задачи и коэффициент эффективности затрат.

Ключевые слова: прогноз, эффективность, радиоуправление, вероятность, информация.

Bychkovskyi V. O., Reutskaya Yu. Yu. **Prognostication of little size radio – controlled apparatus efficiency.**

Introduction. The achievement of radio electronics opens the possibility to create little size radio – controlled apparatus. Such apparatus application permits the fulfillment of tasks in extreme situations. The efficiency's prognostication of apparatus is an actual.

Problem statement. It was necessary to take the following factors into consideration in prognostic process: natural probable of process, extreme situations and work in rob technical complex.

Theoretical results. In the article the methodology for definition the efficiency of little size radio – controlled apparatus was considered. The methodology is based on the information – probabilistic approach. Dependence of probability fulfilment of the problem from accessible information quantity was determined. Comparative analysis with dependences for ordinary radio – controlled apparatus was fulfilled. The problems of probability fulfilment task estimation with information loss and information delay were formalized. The little size radio – controlled apparatus work in rob technical complex was considered. Dependence between radio – controlled apparatus quantity in rob technical complex and reserve of apparatus was determined. The characters of static regime were analyzed. The conditions for coefficient of efficiency were determined.

Conclusions. The rob technical complex unfold problem was formalized as the limitations on task fulfilment probability and expenditure affectivity coefficient.

Keywords: radio - control, probability, information.